

Thème 5 – Localisation, cartographie et mobilité

Ouverture, page 113

1 cm !

1 m est la précision de géolocalisation obtenue grâce au GPS (Global Positioning System, système de géolocalisation par satellite) classique. Avec le DGPS (GPS corrigé par ondes radio), on arrive à 1 cm de précision seulement ! Le DGPS ou GPS différentiel, utilisé dans l'agriculture et l'aviation, sera le système utilisé pour les véhicules autonomes.

Document c : La géolocalisation au service de tous

D'abord réservée aux usages militaires, la géolocalisation s'est démocratisée, en particulier pour l'automobile, mais aussi très rapidement avec l'essor des smartphones. Principalement dédiée aux questions de mobilité dans le domaine public, elle a de nombreuses autres applications pour les entreprises, les États et les particuliers.

La numérisation systématique des cartes depuis le xx^e siècle apporte de nouveaux usages et techniques. Les cartes numériques donnent accès à de nombreuses informations qui facilitent le quotidien. Grâce aux sites collaboratifs, leur possibilité d'évolution est sans limite. Néanmoins, leur utilisation soulève certaines questions d'ordre éthique, commercial et sécuritaire.

Unité 1 – De la donnée à la carte numérique

Document a page 114

Les coordonnées géographiques d'un point

Tout point à la surface de la Terre est déterminé par ses **coordonnées géographiques** (la latitude et la longitude) et par son altitude (élévation par rapport au niveau de la mer).

L'ensemble de ces trois notions, auquel on ajoute le centre de la Terre, est le système **géodésique WGS84**. Il est utilisé comme système de référence mondial pour déterminer les positions sur la Terre par les systèmes GPS dont nous parlerons plus loin, mais il en existe d'autres.

Il existe plusieurs notations de l'écart par rapport à l'équateur ou au méridien de Greenwich.

Document b page 114

Notation des coordonnées géographiques

Les coordonnées géographiques sont exprimées selon une notation **sexagésimale** : angle en degrés ($^{\circ}$), minutes ($'$), secondes ($''$) (DMS) mesuré à la surface d'une sphère de référence (sphère géodésique).

Document c page 114

Représentation d'une donnée sur une carte numérique

Les données peuvent être représentées de deux manières :

- Les **rasters** (ou couches matricielles) se présentent sous forme d'images qui sont positionnées par leurs coordonnées dans l'espace. L'image est divisée en pixels. Une valeur est associée à chaque pixel.

Typiquement, les images qui servent de fond de carte sont des données de type raster. En zoomant suffisamment, les pixels deviennent visibles, sauf si une image se charge lors du changement d'échelle.

- Les **vecteurs**, objets géométriques (points, lignes, polygones), sont repérés eux aussi par leurs coordonnées géographiques. Ces objets sont affichés sans pixélisation à toutes les échelles.

Document d page 115

Un exemple d'accès à des cartes numériques : Géoportail

Le Géoportail, mis en œuvre par l'IGN (Institut National de l'Information Géographique et Forestière) a pour vocation de faciliter l'accès pour le public à des données géographiques. Les données proposées sont des données publiques.

Point info page 115

Un point peut aussi être localisé par ses **coordonnées cartographiques**. L'écart par rapport à l'équateur ou au méridien de Greenwich correspond à une distance en mètre sur un plan qui est la carte.

Vocabulaire page 115

Sexagésimal : système de numération de base 60. C'est le système utilisé pour le temps et pour les angles : il faut 60 secondes pour 1 minute. Il faut 60 minutes pour 1 degré. Les degrés décimaux fonctionnent sur une base 10.

Géodésie : science étudiant la forme et la mesure des dimensions de la Terre.

Unité 2 – Les données géolocalisées

Document b page 116

Une plateforme collaborative de cartes numériques :

OpenStreetMap

OpenStreetMap est une plateforme de cartographie lancée en juillet 2004 par Steve Coast de l'*University College* de Londres. La base de données est alimentée par une communauté de contributeurs.

Les données sont ouvertes (**open source**), c'est-à-dire utilisables par tout type d'utilisateurs. La seule condition exigée est de faire référence à la source des données.

Document c page 116

Les « Pages jaunes », un autre exemple de base de données géolocalisées

Sur le site Web des Pages Jaunes ou celui de Google My Business par exemple, les professionnels peuvent gratuitement indiquer quelques informations sur leur commerce. Les utilisateurs pourront donc le retrouver, y compris par une recherche géographique.

Document d page 117

Les composantes d'un système d'information géographique

Les **SIG** sont des logiciels informatiques conçus pour saisir, stocker, gérer et afficher tous les types de données géolocalisées. À chaque objet est attribuée une fiche

contenant des données de type alphanumérique (nom, adresse, descriptif, historique, actualité, etc.). Toutes les données correspondant à un même thème prennent la forme d'une couche, où les informations sont associées à une forme de représentation (raster ou vecteur).

Le logiciel permet la saisie des informations géographiques et la gestion de la base de données. L'interface entre le logiciel et l'utilisateur va permettre à ce dernier d'interroger la base de données en faisant une recherche par différents critères. Elle permet aussi de mettre en forme les réponses pour les afficher de manière compréhensible. Les données de thèmes différents sont affichées comme des couches superposées, qui peuvent ainsi être mises en relation.

Document e page 117

Simulation du fonctionnement d'un SIG

Pour comprendre les opérations réalisées par une carte numérique lors de l'affichage de données, on réalise une simulation dans laquelle un utilisateur, un logiciel et une base de données doivent interagir pour aboutir à l'affichage souhaité.

Unité 3 – La géolocalisation des données numériques

Document a page 118

La triangulation, ou comment se géolocaliser avec trois repères

Dans la **triangulation**, on détermine sa position (P) par rapport à trois points de repère (au moins), de position connue. Pour cela, il faut déterminer précisément à quelle distance on se trouve de chacun de ces points de repère.

Si on se trouve à une distance d_1 du repère O_1 , alors on est quelque part sur un cercle de rayon r_1 autour de O_1 . Si on se trouve à une distance d_2 du repère O_2 , alors on est sur un cercle de rayon r_2 autour de O_2 .

On est alors à l'intersection des deux cercles. Pour choisir à quelle intersection, il faut ajouter un troisième cercle de rayon r_3 , distance à laquelle on se trouve du repère O_3 .

Document b page 118

Une situation pour appliquer le principe de la triangulation

Alice s'est perdue dans la ville de Esseneté. La ville possède trois horloges dont les sons sont facilement identifiables. Alice entend 11 h sonner. Au regard de sa montre, elle entend l'horloge A avec un retard de 1 s, l'horloge B avec un retard de 1,8 s et l'horloge C avec un retard de 2,5 s. Cela lui permet de se localiser.

Vocabulaire page 118

Triangulation : méthode mathématique utilisant la géométrie des triangles pour déterminer la position relative d'un point.

Satellite (artificiel) : engin portant des équipements et mis en orbite autour de la Terre.

Antenne satellite : outil permettant la réception des émissions transmises par satellite.

Horloge atomique : horloge extrêmement précise basée sur la mesure de temps de transitions stables au niveau des atomes.

Document c page 119

La géolocalisation par satellite (système GPS des États-Unis)

Le **GPS** (Global Positioning System) est un système de positionnement par rapport à un réseau de satellites. Le **satellite** envoie un signal qui comprend sa position et son heure d'émission. Pour cela, le satellite possède à son bord une **horloge atomique** d'une très grande précision.

Le récepteur GPS compare l'heure d'émission du signal à l'heure à laquelle il l'a reçu. La différence correspond à la durée mise par le signal pour parcourir la distance entre le satellite et le récepteur. Multiplié par la vitesse du signal ($300\,000\text{ km}\cdot\text{s}^{-1}$), on obtient la valeur de la distance entre le satellite émetteur et le récepteur.

Avec au moins trois satellites, le récepteur peut trianguler sa position. Une constellation de 31 satellites est en orbite autour de la Terre et couvre toute la surface terrestre. La qualité de la géolocalisation dépend de la synchronisation des horloges entre les satellites et le récepteur. Une erreur d'un milliardième de seconde correspond à une erreur de positionnement de 30 cm.

Document d page 119

La géolocalisation par bornage Wi-Fi : le WPS (Wi-Fi Positioning System)

Un **terminal Wi-Fi** peut se géolocaliser en fonction des identifiants des **bornes Wi-Fi** qu'il détecte. Il va pour cela se référer à des bases de données contenant les identifiants des bornes Wi-Fi ainsi que leurs coordonnées géographiques. Plus il détecte de bornes Wi-Fi, plus la localisation est précise.

Document e page 119

Géolocalisation par antenne relais

Il existe d'autres modes de géolocalisation reposant sur le même principe, par exemple la géolocalisation par GSM : un téléphone peut se géolocaliser en fonction des antennes relais qu'il détecte, l'identifiant et la position des antennes relais (au sol) étant connus. La précision de la localisation par GSM est de l'ordre de 200 m en milieu urbain : elle augmente avec la densité des **antennes relais**.

Point info page 119

L'heure délivrée par les horloges atomiques des satellites GPS est utilisée pour synchroniser des systèmes de télécommunication, les réseaux électriques ou financiers.

Unité 4 – Se géolocaliser avec un smartphone

Document a page 120

Déterminer sa position GPS avec son smartphone

Tous les smartphones récents sont dotés d'une puce de géolocalisation et c'est grâce à celle-ci que votre téléphone peut être géolocalisé.

Avec l'application GPS Status & Tools. Les coordonnées du téléphone sont affichées, ainsi que le nombre de satellites et la marge d'erreur.

Protocole :

- Installer l'application GPS Status & Tools sur un smartphone. Elle donne vos coordonnées, mais aussi l'intensité du signal et la précision.
- Se placer à un endroit permettant de capter un signal satellite.

Document b page 120

La trame GPS au format NMEA

Grâce aux signaux émis par les satellites, les récepteurs peuvent calculer leur localisation et la transmettre sous la forme d'un message appelé trame. Ce message de localisation est communiqué par le récepteur selon **la norme NMEA 0183** (*National Marine Electronics Association*). Une trame est constituée de champs. Les champs sont séparés entre eux par des virgules. Un champ peut être vide, mais la présence de la virgule est obligatoire.

Ces trames peuvent prendre des formes différentes. On prendra ici l'exemple de la **trame GGA**, très répandue car elle déchiffre la position du récepteur GPS. Cette

trame fournit l'heure du système GPS, les coordonnées longitude, latitude et l'altitude des informations relatives à la précision de mesure et au repère.

Document d page 121

Enregistrer une trame NMEA

Étape 1

- Télécharger et installer l'application « NMEA Viewer » sur votre smartphone (Android). Vous devrez l'autoriser à accéder à la géolocalisation et à enregistrer des informations.
- Lancer l'application et choisir une trame sur « NMEA Enregistreur » puis démarrer l'enregistrement.
- Arrêter l'enregistrement et donner un nom au fichier. Revenir au menu principal puis choisir « NMEA Viewer ».
- Sélectionner votre fichier et chercher la dernière trame GGA du fichier.

Étape 2

- Se connecter sur le site nmea.org, se positionner à l'endroit de son choix, puis générer une trame NMEA reçue en ce point en cliquant sur « Generate NMEA file ».
- Ouvrir cette trame dans un traitement de texte et repérer la trame de type GGA ; la placer dans le code Python.

- En vous inspirant de la ligne 23 du script, écrire ligne 24 l'instruction affichant la longitude du point.
- En vous aidant du document b de l'unité 1, modifier le code pour afficher latitude et longitude en degrés, minutes et secondes.

Point info page 121

Tous les smartphones récents sont dotés d'une puce permettant la géolocalisation grâce à laquelle votre téléphone peut être géolocalisé, c'est-à-dire que vous pouvez connaître sa position géographique à l'aide d'une application.

Unité 5 – Récupérer des données de géolocalisation

Document c page 122

Mise en œuvre

1. Relier le module GPS à l'entrée D2 de la carte de connexion.
2. Entrer le programme dans l'éditeur du microcontrôleur.
3. Relier le microcontrôleur au micro-ordinateur.
4. Vérifier dans « outils » que le port choisi est bien celui auquel le microcontrôleur est relié.
5. Téléverser le programme dans le microprocesseur.
6. Lancer le logiciel « u-center » après l'avoir téléchargé sur <https://www.u-blox.com/en/product/u-center>.
7. Dans « Receiver », vérifier que « connection » correspond au port du microcontrôleur, et vérifier que Baudrate est bien à 9 600.
8. Cliquer sur View, Text console.

Unité 6 – Algorithmes et calculs d'itinéraires

Document a page 124

Modélisation d'un changement d'échelle sur une carte numérique

Pour comprendre les opérations réalisées par une carte numérique lors de l'affichage de données, on réalise une simulation dans laquelle un utilisateur, un logiciel et une base de données doivent interagir pour aboutir à l'affichage voulu.

Document c page 125

Deux points sur une carte et plusieurs routes possibles

Les différents itinéraires possibles pourront se représenter sous la forme d'un graphe, dont les nœuds seront les différentes villes ou intersections possibles. Les arêtes entre les nœuds correspondent aux routes entre les villes. Elles sont pondérées par exemple par une distance ou une durée de trajet. Soit le graphe suivant :

Document d page 125

Algorithme de Dijkstra

Chaque sommet du graphe correspond à une ville. L'un des sommets est défini comme point de départ (sommet source). Chaque arête est pondérée par une valeur correspondant à la distance au nœud précédent. Les nœuds non adjacents sont pondérés provisoirement d'une valeur infinie pour être rejetés par la suite.

À chaque **itération** de l'algorithme, on sélectionne le nœud pour lequel la valeur est la plus petite. L'avancée de l'algorithme est souvent présentée sous forme d'un tableau.

Point info page 125

Il existe d'autres algorithmes de calcul d'itinéraire comme l'algorithme A* (A star), conçu au départ pour permettre le déplacement d'un robot dans une pièce encombrée d'obstacles.

Unité 7 – Les applications des cartes numériques

Document a page 126

Connaître sa position en temps réel

Le système GPS américain fut inventé pour des usages militaires. En 1983, le vol 007 Korean Air Lines a été abattu par un avion de chasse soviétique. Il avait accidentellement violé l'espace aérien soviétique, suite à une erreur de guidage et une position erronée. Suite à cet accident tragique, la technologie GPS fut ouverte aux usages de l'aviation civile. Aujourd'hui, les avions transmettent régulièrement leur identité, leur vitesse et leurs coordonnées.

Document d page 126

Se déplacer en toute sérénité dans les transports en commun

Grâce à la géolocalisation des moyens de transport en commun, l'opérateur a la vision exacte de la position de tous les autobus de la ligne sur son écran.

L'information est transmise simultanément aux conducteurs et aux usagers. Le conducteur reçoit automatiquement et en permanence (sur son tableau de bord) l'intervalle de temps qui le sépare du bus précédent et du bus suivant. Il peut ainsi s'autoréguler.

Toute cette offre peut être accessible via son smartphone grâce à des applications : l'utilisateur connaît tous les itinéraires possibles avec les moyens de transport correspondants et l'offre de mobilité en temps réel.

Document c page 126

Covoiturage instantané et géolocalisé : l'autostop connecté

Pour optimiser l'utilisation des véhicules, on a créé des lignes de covoiturage qui suivent les déplacements naturels des automobilistes afin que les covoitureurs fassent le moins de détours possible pour venir se positionner sur ces lignes. Des arrêts-covoiturage sont ensuite définis tout au long de la ligne, comme pour une ligne de bus classique. L'usage de cartes numériques et de la géolocalisation définit des parcours utilisateur simples et fluides, et permet aux passagers d'être informés en temps réel de l'offre sur les tronçons qui les intéressent. La géolocalisation alliée à la connaissance du trafic en temps réel informe aussi les utilisateurs du temps que l'automobiliste mettra à se rendre au point de rencontre planifié.

Document e page 127

Géolocalisation et visites guidées des musées

Le territoire de la Somme a été profondément meurtri par la Grande Guerre. Même cent ans après, les paysages portent encore les stigmates du conflit. Une application, réalisée à l'occasion de la commémoration du centenaire de la fin de la Première Guerre mondiale, propose une géographie littéraire du territoire de la Somme. Son approche géolocalisée permet de découvrir et de comprendre les sites de mémoire, au fil des textes qui en sont inspirés, dans le contexte spécifique de la Première Guerre mondiale.

Document f page 127

Géolocalisation et agriculture de précision

L'objectif premier de l'agriculture de précision est d'améliorer les profits et les rendements des agriculteurs. Dans le même temps, elle s'évertue à réduire les effets négatifs de l'agriculture sur l'environnement qui découlent de l'application excessive de produits phytosanitaires. Elle vise à mieux tenir compte des variabilités des milieux et des conditions entre les différentes parcelles, ainsi qu'à des échelles intra-parcellaires.

Unité 8 – Enjeux éthiques et sociétaux liés à la géolocalisation

Document a page 128

Des conséquences d'erreurs de cartographie

Plusieurs automobilistes australiens ont utilisé l'application Plans d'Apple, sortie en 2012, pour se rendre dans la ville de Mildura. Ils se sont finalement retrouvés en plein milieu du parc national de Murray Sunset, territoire potentiellement mortel pour les inexpérimentés. Le logiciel localisait la ville 70 km trop au Nord. Dans cette ville désertique, les températures avoisinent les 46 °C, l'eau est rare, les animaux sauvages sont dangereux et il n'y a aucune couverture de réseau téléphonique. Début décembre 2012, la police de Mildura a diffusé un avertissement après qu'un automobiliste ait dû attendre 24 heures avant d'être secouru.

Document b page 128

Suivre sa famille à la trace

- Sachez toujours où est votre enfant (même dans le parking souterrain !)
Soyez au courant des entrées et des sorties des enfants des zones de sécurité.
- Recevez des alertes automatisées lorsque vos proches arrivent à la maison, à l'école ou à un endroit que vous définissez.
- Configurez des zones dangereuses pour recevoir des alertes lorsque vos enfants y pénètrent. Trouvez le chemin jusqu'à l'endroit où se trouve un enfant, à l'aide de la navigation.

- Reconstituez l'historique de tous les déplacements des enfants.
- En cas d'urgence, utilisez le bouton SOS pour envoyer une alerte d'aide.
- Avec l'option babyphone : maintenant vous pouvez écouter ce qui se passe autour de votre enfant.

Document c page 128

Facebook géolocalise-t-il ses utilisateurs pour leur suggérer des amis ?

Avec l'algorithme de Facebook, deux personnes qui ont partagé la même géolocalisation peuvent se retrouver dans la liste de suggestions d'amis de l'autre, que ce soit un patron, un contact professionnel ou un inconnu. Combinée à d'autres facteurs, cette initiative peut se transformer en menace pour la vie privée et la sécurité. Il reste à imaginer ce que cela pourrait donner si ce type de réseau s'associait à un État dans une optique de surveillance de la population. Légalement, la police est en droit de demander à Facebook de lui transmettre toutes les données de localisation qu'il récupère.

Point info page 128

L'immatriculation MAC d'un appareil permet à Google de toujours suivre les utilisateurs Android et cela sans connexion nécessaire grâce à la fonction « Toujours autoriser la recherche » de la Wi-Fi.

Document d page 129

De la publicité personnalisée au géomarketing

Le **tracking publicitaire** consiste à récupérer les données marketing des individus (information sociodémographique, mode comportemental, mode de consommation, fréquentation de zones commerciales, partage de communautés) et à les combiner avec les données géolocalisées. Cela permet de connaître et d'analyser très finement le comportement de la clientèle. Cela débouche sur la publicité géolocalisée, c'est-à-dire celle qui est diffusée selon la localisation des individus à un instant donné.

Le Mag' des SNT, pages 130-131

Grand angle

Les *GPS drawing*, aussi connu sous le nom de *GPS Art* et *Strava art*, consiste à dessiner une forme sur la carte grâce au suivi GPS d'une course. La triathlète Marine Deleu a ainsi dessiné un requin géant dans les rues de Paris.

Ce dessin demande un gros travail de préparation pour tracer l'itinéraire, ce qui s'exécute via une carte numérique telle que celle de Google Earth. Au prix de plusieurs heures de travail, l'artiste/ athlète définit les rues par lesquelles il faut passer pour aboutir à la forme voulue.

Dans les villes où les rues sont bien droites et perpendiculaires, comme aux États-Unis, les artistes peuvent créer des figures pixelisées. Dans les rues tortueuses de villes comme Paris, les contraintes sont plus fortes.

D'autres artistes créent leur figure sans préparation, hors des villes et en terrain ouvert, ce qui leur demande de suivre leur progression sur leur récepteur GPS.

Le partage des figures réalisées se fait sur des applications comme Strava, dédiées à la course à pied, mais de nombreux artistes importent aussi leur trace sur Google Maps ou OpenStreetMap.

Voir ! *Kingsman : services secrets*

Un homme d'affaires milliardaire dénommé Valentine a une idée révolutionnaire : offrir un smartphone à tous les êtres humains de la planète afin qu'ils aient gratuitement accès aux réseaux téléphonique et internet à vie. Sous couvert d'un acte humaniste sans précédent, Valentine compte organiser un nouvel ordre mondial. Grâce à son satellite, il a le contrôle sur chacune des puces qu'il a

confectionnées pour manipuler la population. Ce sont en réalité de petites bombes attendant d'être activées. Les personnes influentes de notre monde se font « eux » implanter une puce qui les sauvegardera à ce moment. Eggsy, un agent Kingsman de nouvelle génération, est le seul à pouvoir enrayer **les possibilités immenses d'un système GPS bien armé pour le futur.**

Et demain ?

Un drone est un engin sans pilote à bord. Le plus souvent ils sont télécommandés, mais se développent aujourd'hui des drones autonomes, promis à un bel avenir. Depuis 2013, Amazon communique sur l'avancée de son projet de livraison par drone Amazon Prime Air. En 2016, Domino's a testé avec succès la première livraison de pizza à Auckland, en Nouvelle-Zélande.

Il ne s'agit pour l'instant que de livraisons de petits colis (moins de 3 kilos), pas trop loin des entrepôts en raison des limites techniques des drones et de la sécurisation du vol.

Si elle permet de réduire le temps et le coût pour des entreprises comme Amazon ou La Poste, l'utilisation de drones de livraison permettrait aussi de désenclaver des régions difficiles d'accès. Ainsi, des start-ups africaines se lancent dans l'expérimentation, comme Paps, qui est une application de livraison à la demande géolocalisée. Ces drones de livraison pourraient étendre leurs activités aux organisations humanitaires, à l'agriculture et à la surveillance. Le point commun de tous ces drones est qu'ils sont équipés de puces GPS leur permettant de naviguer vers une destination s'ils sont autonomes, ou bien s'ils ne le sont pas, de géolocaliser ce qu'ils transportent ou les données qu'ils produisent.

Métier : géomaticienne

« Mon travail consiste à cartographier intelligemment certaines activités humaines ou des risques naturels ou d'autres sujets, et à construire des bases de données. Puis, en croisant différentes données numériques, je produis des cartes thématiques et des études spatiales. Un autre aspect intéressant de mon métier est de réaliser des simulations diverses, par exemple des simulations d'aménagements urbains, de voies de communication, de risques naturels, de mouvements de populations ou de trafics économiques...

Je travaille pour des entreprises privées ou au service de collectivités. J'ai aussi à me montrer persuasive et à réussir à imposer mes choix auprès des divers acteurs impliqués dans le projet. C'est un métier passionnant qui demande une grande polyvalence et le goût des contacts. »

En bref

1. L'invention du drone

En **1917**, le capitaine de l'armée française Max Boucher fait voler le premier aéronef sans pilote radiocommandé sur la base militaire d'Avord, dans le Cher.

2. Les « beacons »

Les beacons sont de petits boîtiers, ils utilisent la technologie Bluetooth pour communiquer avec les smartphones ou tablettes proches. Ils connaissent un développement important dans les magasins américains. Le client qui entre reçoit ainsi un message de bienvenue et peut-être un bon de réduction lorsqu'il s'attarde devant un produit.

3. En gravité

Dans *Gravity* (2012), film d'Alfonso Cuarón, on prend conscience que le moindre petit débris peut se transformer en arme mortelle dans l'espace. Certains peuvent atteindre 70 000 km.h !